



Joonas Järvelä

## **PUURAKENTEISEN POLYURETAANIELEMENTIN ILMAÄÄ- NENERISTÄVYYS**

# **PUURAKENTEISEN POLYURETAANIELEMENTIN ILMAÄÄ- NERISTÄVYYS**

Joonas Järvelä  
Opinnäytetyö  
Kevät 2012  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikan koulutusohjelma, rakennesuunnittelu

---

Tekijä: Joonas Järvelä

Opinnäytetyön nimi: Puurakenteisen polyuretaanielementin ilmaääneneristävyyden

Työn ohjaaja: Kauko Tulla

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2012 Sivumäärä: 46 + 4 liitettä

---

Rakenteiden suunnittelussa tulee joskus vastaan tilanteita, joissa rakenteen ääneneristävyys tulee suunnittelussa määrääväksi asiaksi. Näin voi käysä silloin, kun jonkun tietyn rakenteen kaikki muut ominaisuudet täyttäisivät määräykset, mutta ääneneristävyys ei riitä. Ongelma koskee erityisesti keveitä rakennneosia, kuten tässä opinnäytetyössä tutkittavia puurakenteisia polyuretaanielementtejä.

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia Termater Oy:n valmistaman puurakenteisen polyuretaanielementin ilmaääneneristävyyttä sekä löytää sille rakenneratkaisut, jotka täyttävät ulko- ja asuntojen väliselle seinälle asetetut vaatimukset. Työssä testattiin kolme eri rakennekerroksista koottua elementtiä. Tarkoituksena oli löytää mahdollisimman kustannustehokas riittävän ilmaääneneristävyyden omaava ulko- ja väliseinäelementin rakenne.

Työn teoriaosan alussa käsiteltiin äänen yleisiä ominaisuuksia. Tämän jälkeen siirryttiin tutkimaan ääneneristävyyteen vaikuttavia asioita ja määritettiin laskukaavat, joilla niitä voidaan tutkia. Lisäksi määritettiin, minkälaisia vaatimuksia ulko- ja väliseinien ilmaääneneristävyydelle on määritetty.

Työn toteutusosassa keskityttiin VTT:n Espoon yksikössä tehtyjen ilmaääneneristävyyuskokeiden analysoimiseen. Työkaluina tässä käytettiin kokeista saatuja tuloksia sekä teoriaosassa määritettyjä laskukaavoja.

Ulkoseinille asetetut ilmaääneneristävyyksivaatimukset elementti täyttää ilman lisäkerroksia, jos ulkomelun taso täyttää sille asetetut vaatimukset. Asuntojen välisten seinien ääneneristävyyksivaatimukset sen sijaan ovat niin korkeat, etteivät niiden kustannukset nousevat kohtuuttoman korkeiksi, jos niihin lisätään tarvittavat rakennekerrokset.

---

Asiasanat: polyuretaani, ilmaääneneristävyys, elementti

# ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Civil Engineering, Construction Engineering

---

Author(s): Joonas Järvelä  
Title of thesis: Sound insulation of Wood Structured Polyurethane Element  
Supervisor(s): Kauko Tulla  
Term and year when the thesis was submitted: Spring 2012  
Pages: 46 + 4 appendices

---

Sometimes sound insulation becomes the main thing in planning of structures. This happens when all the other features of a constituent fills the regulations except the sound insulation. Especially light components are problematic structures such as the wood structured polyurethane elements examined in this thesis work.

The aim of this thesis work is to examine the sound insulation of polyurethane element that is manufactured by Termater Inc. Another objective is to find structures of components that fill the regulations of sound insulation. Three elements with different kind of structures were tested during this work. The objective was to find a structure that is as cheap as possible to manufacture but at the same time fills the regulations of sound insulation.

General properties of sound are processed in the theory part of this work. Issues that influence on sound insulation and formulas to examine sound insulation are also included.

The execution part of the work focuses on analyzing a sound insulation test made in Technical Research Centre of Finland. This was made with the help of results of the tests and formulas included in the work.

Regulations set to external walls are filled by the element without extra layers if the noise of outside is in regulations. The regulations for internal walls between apartments is so strict that expenses spent on extra layers to get sound insulation good enough would be so much that it is not profitable to manufacture.

## **ALKULAUSE**

Tämä opinnäytetyö on tehty Termater Oy:n toimeksiannosta Oulun seudun ammattikorkeakoulun tekniikan yksikössä ja se valmistui keväällä 2012.

Kiitos työni valvojille, joita olivat Termater Oy:n puolesta toimitusjohtaja Tero Väärämäki sekä Oulun seudun ammattikorkeakoulun puolesta yliopettaja Kauko Tulla. Lisäksi haluan kiittää Miika Ojalaa sekä VTT:n henkilökunnasta Veijo Siivosta, jotka olivat mukana testaamassa elementtejä VTT:n Espoon toimipisteessä.

Oulussa 7.5.2012

Joonas Järvelä

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
SANASTO	8
1 JOHDANTO	10
2 ÄÄNI	11
2.1 Äänen taajuus	11
2.2 Ääniaallot	11
2.3 Äänenpainetaso ja äänitehotaso	12
3 ÄÄNENERISTÄVYYS	14
3.1 Huoneistojen välisen ääneneristävyuden vaatimukset	14
3.2 Vaipan ääneneristävyuden vaatimukset	15
4 ÄÄNENERISTÄVYYTEEN VAIKUTTAVAT ASIAT	18
4.1 Rakenteen massa	18
4.2 Absorptio	19
4.3 Koinsidenssi-ilmiö	21
4.4 Resonanssi-ilmiö	22
4.5 Jälkikaiunta-aika	24
4.6 Sivutiesiirtymät	25
4.7 Tiiveys	27
5 ILMAÄÄNENÄÄNENERISTÄVYYDEN MITTAUS	28
5.1 Laboratoriomittaus	28
5.2 Mittaus valmiissa rakennuksessa	30
6 TESTATTUJEN ELEMENTTIEN ÄÄNENERISTÄVYYSOMINAISUUDET	31
6.1 Elementtien testaaminen	31
6.2 Testattujen elementtien ääneneristävyysominaisuudet	34
6.2.1 Elementti 1, ei lisättyjä rakennekerroksia	34
6.2.2 Elementti 2, lisävillakerros elementin pinnassa	36
6.2.3 Elementti 3, joustava levyrakenne elementin pinnassa	37
6.3 Massalain mukainen ääneneristävyys	40

6.4 Jälkikaiunta-aika	41
7 ELEMENTTIEN VERTAILU JA JOHTOPÄÄTÖKSET	42
8 YHTEENVETO	44
LÄHTEET	45
LIITE 1 Elementti 1:n mittaustulokset	47
LIITE 2 Elementti 2:n mittaustulokset	48
LIITE 3 Elementti 3:n mittaustulokset	49
LIITE 4 Mitatut jälkikaiunta-ajat	50

## SANASTO

Absorptioala	Pinnan ala kerrottuna sen absorptiokertoimella.
Absorptiokerroin	Pinnan absorboiman ja siihen osuvan ääni- tehon suhde.
Ilmaäänä	Äänilähteestä ympäristöön ilman välityksellä leviävä ääni.
Jälkikaiunta-aika	Aika, jona äänenpainetaso äänilähteen vai- ettua alenee 60 dB.
Koinsidenssi	Tilanne, jossa rakenteessa etenevän taivutusvärähtelyn aallonpituus on yhtä suuri kuin kohtaavan ääniaallon pituuden projek- tio taivutusaallon etenemissuunnassa.
Koinsidenssitaajuus	Tulevan ääniaallon geometriasta riippuva taivutustaajuus, jolla koinsidenssi syntyy.
Kipukynnys	Pienin jatkuva äänen äänenpaineen tehollisarvo, joka saa aikaan kipuaistimuksen korvassa.
Kuuloalue	Kuulo- ja kipukynnyksien rajaama alue.
Kuulokynnys	Jatkuvan äänen pienin äänenpaineen tehollisarvo, joka saa aikaan kuuloaistimuksen.
Massalaki	Periaate, jonka mukaan seinämän tai muun vastaavan ääneneristävyys on seinän pinta-alamassaan verrannollinen.
Ominaistaajuus	Ominaistaajuudet ovat rakenteille tai värähtelyjärjestelmille ominaisia taajuuksia, joilla rakenne (värähtelyjärjestelmä) tai sen osat pyrkivät värähtelemään poikkeutettaessa niitä tasapainotilastaan tai annettaessa rakenteelle hetkellinen alkuheräte.



Pitkittäisaalto	Ääniaalto, jonka hiukkaspoikkeama on aaltonormaalin suuntainen.
Poikittäisaalto	Aalto, jonka hiukkaspoikkeama on kohtisuorassa aaltonormaalista vastaan.
Resonanssi-ilmiö	Resonanssissa jaksollisen herätteen taajuus osuu rakenteen tai värähtelyjärjestelmän ominaistajuusalueelle, jolloin rakenne alkaa värähdellä voimakkaasti ko. taajuudella. Resonanssissa rakenteen ääneneristävyyden heikkenee usein merkittävästi.
Runkoääni	Runkorakenteessa tai muussa kiinteässä kappaleessa etenevä mekaaninen värähtely, joka aiheuttaa ilmaääntä.
Sivutiesiirtymä	Ilmaäänien eteneminen tilasta toiseen muuta tietä kuin näiden tilojen välisen seinämän läpi.
Taivutusaalto	Levyssä tai sauvassa etenevä poikittäisaalto, joka on puristus- ja leikkausaaltojen yhdistelmä.
Äänen absorptio	Energiahäviöiden aiheuttama ääniaallon vaimeneminen sen edetessä väliaineessa tai heijastuessa rajapinnasta.
Äänennopeus	Äänienergian etenemisnopeus.
Äänenpaine	Äänikentästä aiheutuvan hetkellisen paineen ja staattisen paineen ero.
Äänenpainetaso	Äänenpaineen ja standardoidun vertailupaineen suhteen kaksikymmenkertainen kymmenlogaritmi, jolloin yksikkönä on dB.
Äänen taajuus	Sinimuotoisen suureen jaksojen lukun ja kuluneen ajan osamäärä.
Ääniaalto	Äänen aiheuttama aaltoliike.

# 1 JOHDANTO

Tänä päivänä vain noin seitsemän prosenttia kaikista Suomessa käytettävistä talojen eristeistä on polyuretaania. Energiämääräysten jatkuvan kiristymisen vuoksi tämän luvun voidaan olettaa kasvavan huomattavasti tulevaisuudessa polyuretaanin erinomaisten tiiveys- ja lämmöneristysominaisuuksien vuoksi. Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja Termater Oy on jatkuvasti lisännyt tuotteidensa painopistettä polyuretaanieristeiden suuntaan.

Kesällä 2011 valmistui ensimmäinen Termaterin polyuretaanieristeistä elementeistä tehty rivitalo. Rakennusprojekti oli kaikin puolin onnistunut ja sen tiimoilta on ryhdytty viemään kohteessa käytettyjen elementtien kehitystyötä eteenpäin, mihin myös tämä opinnäytetyö tähtää.

Termater on viime aikoina saanut paljon kysymyksiä polyuretaanieristeisten elementtien ääneneristävydestä. Tämän opinnäytetyön tavoitteena onkin tutkia kyseisten elementtien ääniteknistä käyttäytymistä sekä selvittää, riittääkö Termaterin jatkuvavaluelementtien ääneneristävyys sellaisenaan käytettäessä sitä ulko- ja sisäseinänä asuinhuoneistoissa, ja jos ääneneristävyys ei riitä, tarkoituksena on selvittää, millä toimenpiteillä saadaan nostettua ääneneristävyys riittävälle tasolle.

Termater Oy on rakennuselementtejä valmistava yritys, jonka tuotevalikoimaan vielä tällä hetkellä kuuluvat mineraalivilla- ja polyuretaanieristeiset elementit. Yritys kuitenkin luopuu vuoteen 2013 mennessä kokonaan mineraalivillan käytöstä tuotteiden eristemateriaalina, minkä jälkeen se keskittyy pelkästään polyuretaanieristeisten tuotteiden valmistamiseen. Termaterille valmistui helmikuussa 2012 elementtien valmistusta varten jatkuvavalulinja, joka on ensimmäinen laatuaan Suomessa. Uuden valmistustekniikan ansiosta polyuretaanielementtien valmistus on nopeampaa kuin aikaisemmin ja sitä myötä myös edullisempaa.

## 2 ÄÄNI

Ääni on mekaanista värähtelyä eli paineen vaihtelua elastisessa väliaineessa ja sen etenemistä väliaineessa kutsutaan ääniaalloksi. Äänen havaitseminen riippuu sen taajuudesta ja painetasosta. (1, s.9 ; 2, s. 27 ; 3, s.11-12.)

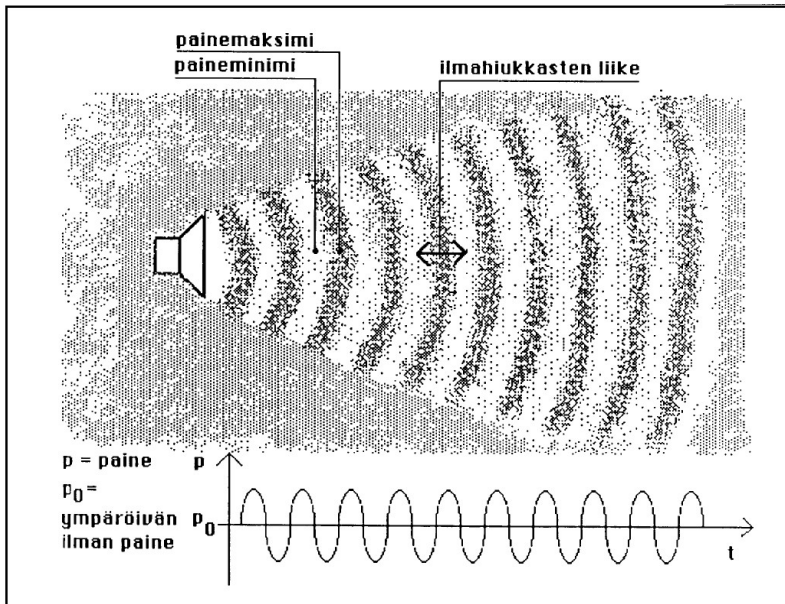
Ääntä nimitetään sen mukaan, missä väliaineessa se liikkuu. Rakennuksen rungossa liikkuvia ääniä kutsutaan runkoääniksi ja ilmassa kulkevia ilmaääniksi. Yhteistä näillä äänillä on se, että runkoääni voi synnyttää ilmaääntä ja päinvastoin. Ääntä syntyy ilmaäänä lähes kaikesta ihmisen toteuttamasta toiminnasta rakennuksen sisällä ja rakennuksen ulkopuolella esimerkiksi liikenteestä. Ilmaäänien osuessa rakennuksen runkoon, siihen aiheutuu värähtelyä, josta saattaa syntyä runkoääntä. Runkoääntä syntyy myös kaikista runkoon osuvista mekaanisista iskuista, jotka aiheuttavat runkoon värähtelyä, mikä lähes poikkeuksetta aiheuttaa ilmaääntä. (3, s.10.)

### 2.1 Äänen taajuus

Äänen taajuus ilmoittaa, kuinka monesti ääniaalto värähtää edestakaisin sekunnin aikana. Äänen taajuuden yksikkö on hertzi. Korkeilla äänillä on suuri taajuus ja matalilla äänillä pieni taajuus. Ihminen aistii taajuudet 20 - 20 000 Hz, mutta iän lisääntyessä kuulo heikkenee siten, että korkeiden taajuuksien kuuleminen huononee. Kuulo on herkimmillään taajuuksilla 100 - 3 150 Hz. (1, s.11.)

### 2.2 Ääniaallot

Ihminen aistii ääniaallot kuulon avulla. Kaasussa edetessä ääniaallot aiheuttavat väliaineeseen pitkittäissuuntaisia eli tihennysaaltoja, jotka aiheuttavat hiukkasten värähtelyn avulla äänen etenemissuunnan kanssa samansuuntaisia yli- ja alipainevyöhykkeitä (kuva 1). Kiinteissä kappaleissa syntyy tavallisesti myös poikittaissaaltoja eli äänen etenemissuuntaan kohtisuoraa tai likimain kohtisuoraa hiukkasten värähtelyä. Poikittaissaallot saattavat aiheuttaa ohuisiin rakenteisiin taivutusaaltoja, jotka aiheuttavat rakenteeseen muodonmuutoksia ja taipumia. (2, s.27 - 28 ; 1, s.9 ; 3, s.11.)



KUVA 1. Äänenpaine kaasussa (2, s. 27)

Ääniaallon pituus saadaan jakamalla äänennopeus kyseisen äänen taajuudella (kaava 1). Ilmassa kuultavat aallonpituudet ovat välillä 0,02 - 20 m. (1, s.9 - 10.)

$$\lambda = c/f$$

KAAVA 1

$\lambda$  = aallonpituus (m)

$c$  = äänen nopeus (m/s)

$f$  = taajuus (Hz)

### 2.3 Äänenpainetaso ja äänitehotaso

Äänenvoimakkuutta kuvataan äänenpainetasolla (dB) ja se pystytään laske-  
maan, kun tunnetaan äänenpaine (kaava 2). Kuulokynnys on alin ihmisen kuu-  
lema äänenpaine  $0,00002 \text{ N/m}^2$  ja kipukynnys on ylin ilman kipua kuultava ää-  
nenpaine  $20 \text{ N/m}^2$ . Kun äänen voimakkuus kaksinkertaistuu, äänenpainetaso  
nousee noin 6 dB. (1, s.11 - 12; 9.)

$$L_p = 20 \lg(p/p_0) \text{ dB}$$

KAAVA 2

$L_p$  = äänenpainetaso (dB)

$p$  = äänenpaine (N/m<sup>2</sup>)

$p_0$  = standardoitu vertailupaine  $2 \times 10^{-5}$  N/m<sup>2</sup>

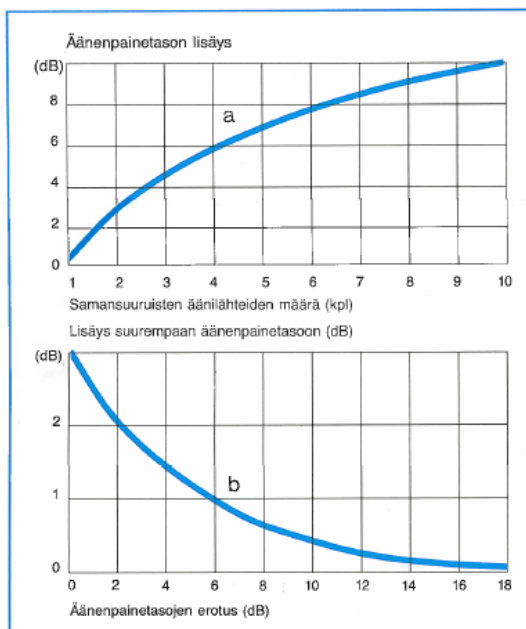
Äänenpainetaso on logaritminen suure eli äänilähteiden lisääntyessä se ei kasva samassa suhteessa. Usean äänilähteen aiheuttamaa äänenpainetasoa merkitään suureella  $L_{\text{kok}}$ , joka saadaan joko käyttämällä apuna usean äänilähteen äänenpainetason laskentakäyriä tai laskemalla kaavalla 3. Kun on kaksi yhtä voimakasta äänilähdettä, on niiden yhdessä tuottama äänenpainetaso noin 3 dB korkeampi, kuin jos olisi vain yksi vastaava äänilähde (kuva 2). (1 s.11 - 12 ; 9.)

$$L_{\text{kok}} = 10 \lg(10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + \dots + 10^{L_n/10})$$

KAAVA 3

$L_{\text{kok}}$  = kokonaisäänepainetaso (dB)

$L_1, L_2 \dots L_n$  = yksittäisen äänilähteen äänenpainetaso



KUVA 2. Usean äänilähteen aiheuttama äänenpainetaso. a) äänilähteet yhtäsuuria b) äänilähteet erisuuria (1, s. 12)

### 3 ÄÄNENERISTÄVYYS

Ääneneristävyyden yhteydessä puhutaan meluntorjunnasta. Sitäitä koskien on vaatimuksia rakentamismääräyskokoelmassa ja muissa viranomaissäännöksissä, joita rakentamisessa tulee noudattaa. (12, s.10.)

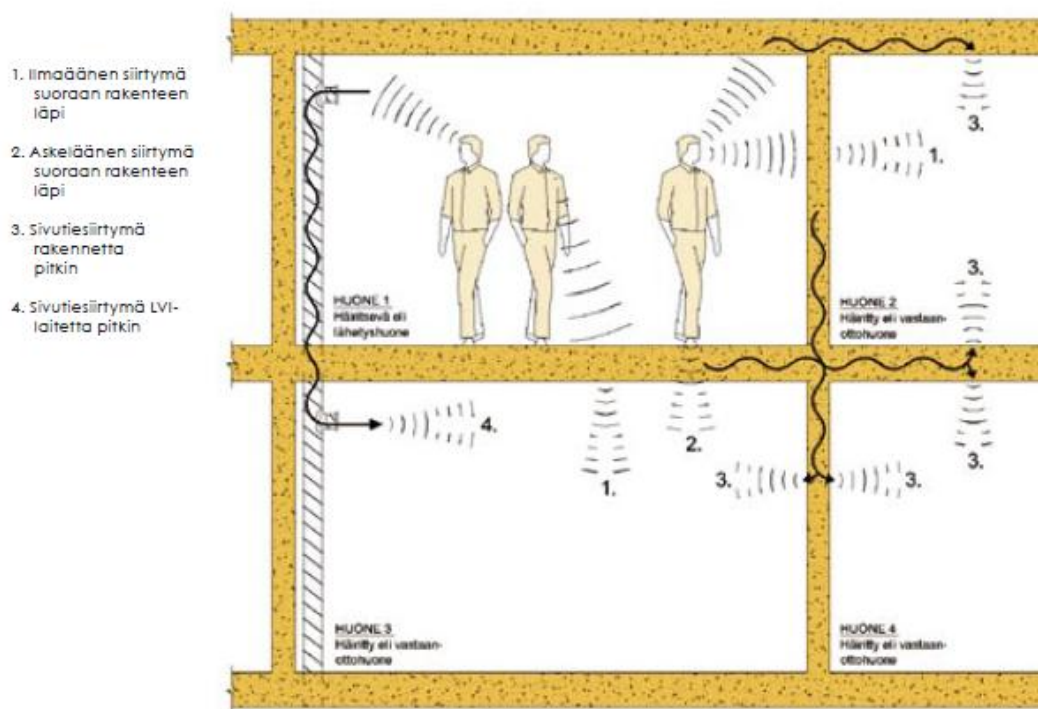
#### 3.1 Huoneistojen välisen ääneneristävyyden vaatimukset

Rakennuksen ääneneristävyyden tulee olla sen mukainen, ettei melusta koidu rakennuksen käyttäjälle kohtuutonta häiriötä tai terveyshaittoja. Rakennusosille määritetyt ääneneristävyyden vaatimustasot on määritetty rakentamismääräyskokoelman osassa C1 (taulukko 1). Rakennusta suunniteltaessa ja rakennettaessa on otettava huomioon muutkin seikat kuin pelkkä rakennusosan ääneneristävyys, kuten melunlähteen voimakkuus sekä tilojen sijoittelu toisiinsa nähden suunnittelemalla rakennukset siten, että meluisat tilat sijoitetaan erilleen hiljaisuutta vaativista tiloista. (4, s.3 - 4; 12, s.12.)

*TAULUKKO 1. Asuinrakennuksissa noudatettavat akustiset vaatimukset (4, s. 5)*

<b>Pienimmät sallitut ilmaääneneristysluvun <math>R'_w</math> (dB) arvot</b>	<b>dB</b>
– Asuinhuoneiston ja sitä ympäröivien tilojen välillä yleensä	55
– Asuinhuoneiston ja toista huoneistoa palvelevan uloskäytävän välillä, kun välissä on ovi	39
<b>Suurimmat sallitut askeläänitasoluvun <math>L'_{n,w}</math> (dB) arvot</b>	<b>dB</b>
– Asuinhuoneistoa ympäröivistä tiloista keittiöön tai muuhun asuinhuoneeseen, yleensä	53

Asuinrakennuksissa, joissa on useita asuinhuoneistoja, suurin äänitekkinen ongelma on äänen siirtyminen asunnosta toiseen. Ääni siirtyy huoneistosta toiseen ilmaääninä joko suoraan rakenteen läpi tai sivutiesiirtymänä (kts. luku 4.6) rakenteeseen liittyvää rakennetta tai LVI-laitetta pitkin. Sivutiesiirtymien vuoksi asunnossa olevan rakenteen ääneneristävyys on huonompi kuin rakenteelle mitattu ääneneristävyys. Tämän asian vaikutus vahvistuu, jos rakenteen ääneneristävyys on korkea. (Kuva 3.) (12, s.15 ; 3, s.10, 19.)



KUVA 3. Äänen etenemisreitit rakennuksessa (3, s. 11)

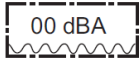
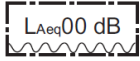
### 3.2 Vaipan ääneneristävyyden vaatimukset

Rakennuksen ulkopuolinen melutaso, kuten liikennemelu, ylittää joskus melun-  
torjuntalaissa ilmoitetut melutason ohjearvot (taulukko 2).

TAULUKKO 2. Melutason ohjearvot (13, s. 28)

	päiväsaikaan klo 07 - 22	yöaikaan klo 22 - 07
<b>Melu kiinteistön tontilla oleskelualueella</b>	$L_{A,eq,u}$ (dB)	$L_{A,eq,u}$ (dB)
Asuinalueet, hoito- ja oppilaitosten alueet	55	50
- edelliset mutta uusilla alueilla	55	45
Vapaa-ajan alueet, loma-asuntoalueet	45	
<b>Huoneistojen sisäpuolinen melu</b>	$L_{A,eq,s}$ (dB)	$L_{A,eq,s}$ (dB)
Asuin-, potilas- ja majoitushuoneet päivällä	35	30
Opetus- ja kokoontumistilat	35	35
Liike- ja toimistohuoneet	45	45

Tällöin rakennuksen vaipan rakenteiden ohjearvoista poikkeavat eristävyysvaatimukset tai ulkopuolisen melun taso voidaan ilmoittaa asemakaavassa (kuva 4). Rakenne tulee mitoittaa näiden arvojen mukaan. Jos kumpaakaan ei ole määritetty, pitää rakennushankkeeseen ryhtyvän olla varma, että rakennuksessa saavutetaan riittävän hyvät ääniolot. Vaipan rakenteiksi lasketaan ulkoseinät, katto ja alapohja, joiden ääneneristävyyden tulee olla sen mukainen, että niillä saavutetaan sisämelun keskiäänitason ohjearvo, joka on päivällä 35 dB ja yöllä 30dB. (12, s.10 ; 5, s. 8 - 9.)

	<b>Asemakaavamerkintä 132</b> "Merkintä osoittaa rakennusalan sivun, jonka puoleisten rakennuksen ulkoseinien sekä ikkunoiden ja muiden rakenteiden ääneneristävyyden liikennemelua vastaan on oltava vähintään 00 dBA"
	tai "Rakennuksen ulkopuolinen melutaso, jonka perusteella voidaan määrittää vaatimus ulkoseinän kokonaisääneneristävyydelle"

**KUVA 4. Asemakaavamerkinnät ulkoseinän ääneneristävyydelle (5, s.9)**

Ulkoseinän ääneneristävyyksivaatimus ei ole suoraan ulko- ja sisämelun äänitaso-erotus (kaava 4). On otettava huomioon, että huoneen seinät, katto ja lattia heijastavat sisään tullutta ääntä ja näin ollen nostavat melutasoa. Lisäksi on huomioitava esimerkiksi isojen ikkunoiden heikentävä vaikutus ääneneristävyydelle. Näistä syistä seinän rakenteellinen osa tulee mitoittaa siten, että kaavamääräyksen mukaan laskettavaa julkisivua koskevaa ääneneristysvaatimusta (kaava 5) parannetaan 3 dB (kaava 6). (5, s.11 - 12.)

$$\Delta L = L_{A,eq,u} - L_{A,eq,s'} \quad \text{KAAVA 4}$$

$$R_{tr,vaad} = \Delta L + K_1 + 7\text{dB} \quad \text{KAAVA 5}$$

$$R_{A,tr,seinä} = R_{tr,vaad} + 3\text{dB} \quad \text{KAAVA 6}$$

$\Delta L$  = kaavamääräyksenä (tai asemakaavassa kaavamerkintänä 132) annettava vaatimus (00dBA)

$L_{A,eq,u}$  = ulkomelun päivä- (tai yöaikainen) keskiäänitaso rakenteen, kuten ulkoseinän, kuvitellussa tasossa ilman tarkasteltavan rakenteen pinnan heijastusta

$L_{A,eq,s'}$  = vastaava sallittava



$R_{tr,vaad}$  = julkisivun yhtenäisääneneristävyyden vaatimus

$K_1$  = tarkasteltavan julkisivun pinta-alan ja huoneen absorptioalan huomioon ottava korjaustermi (taulukko 3).

*TAULUKKO 3. Absorptioalan korjaustermien  $K_1$  arvot (dB) tarkasteltavan julkisivun pinta-alan  $S$  ja huonetilan lattiapinta-alan  $S_H$  suhteesta riippuen (5, s. 12)*

Julkisivun pinta-ala/lattian pinta-ala $S/S_H$	2,5	2,0	1,6	1,3	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4
Termi $K_1$	+5	+4	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3

Jos esivalmistettu elementti on testattu laboratorio-olosuhteissa siten, että kaikki rakenneosat on otettu huomioon, tai jos rakenne on mitoitettu luotettavasti varmalle puolelle, ei 3 dB:n lisäystä tarvitse ottaa huomioon. (5, s.12.)

Kun tarkistetaan suurimman sallitun ulkomelun alueella sijaitsevan asuinrakennuksen ulkoseinän ilmaääneneristävyyden vaatimus ja käytetään  $K_1$  arvona epäedullisinta arvoa eli +5, saadaan

$$\Delta L = 55 \text{ dB} - 35 \text{ dB} = 20 \text{ dB}$$

$$R_{tr,vaad} = 20 \text{ dB} + 5 + 7 \text{ dB} = 32 \text{ dB}$$

$$R_{A,tr,seinä} = 32 \text{ dB} + 3 \text{ dB} = 35 \text{ dB}$$

## 4 ÄÄNENERISTÄVYYTEEN VAIKUTTAVAT ASIAT

### 4.1 Rakenteen massa

Ääniaalto antaa seinään osuessaan sille kiihtyvyyden, joka on sitä suurempi, mitä pienempi seinän massa on. Tästä seuraa se, että raskaan seinän ääneneristävyys on pienemmän värähtelyn ansiosta parempi kuin kevyellä seinällä. Rakenteen ääneneristävyys pystytään laskemaan kaavalla, jota kutsutaan massalaiksi, kun tiedetään rakenteen massa ja äänen taajuus (kaava 7). Kaksinkertaistamalla seinän massa sen ääneneristävyys paranee 4 - 6 dB. Seinän massan lisääminen ääneneristävyyden parantamiseksi on vartenotettava vaihtoehto silloin, kun on kyse kevyestä seinästä. Raskaissa seinissä ei massan lisäyksellä saavuteta merkittävää parannusta ääneneristävyydessä. (6, s.169.)

$$R = 20 \lg(m + f) - 49$$

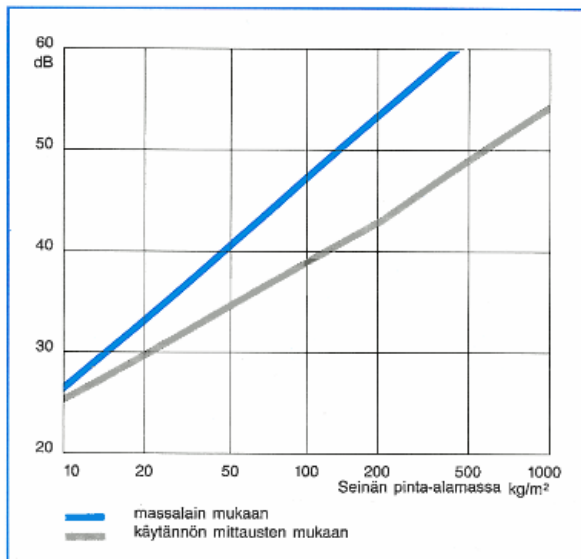
KAAVA 7

$R$  = rakenteen ääneneristävyys (db)

$m$  = rakenteen massa ( $\text{kg/m}^2$ )

$f$  = taajuus (Hz)

Yksinkertainen rakenne ei kimmoisien ominaisuuksien vuoksi noudata täysin massalakia. Sen kimmoisuus aiheuttaa resonanssi- ja koinsidenssi-ilmiöitä, jotka heikentävät rakenteen ääneneristävyyttä tietyillä taajuuksilla. (Kuva 5.) (1, s.15.)



KUVA 5. Keskimääräinen ilmaääneneristävyys (1, s. 15)

## 4.2 Absorptio

Absorptiolla tarkoitetaan aineen kykyä imeä ääntä itseensä eli vaimentaa sitä. Äänen osuessa rakenteeseen osa äänestä heijastuu takaisin, osa jatkaa matkaa rakenteen läpi ja osa imeytyy rakennusosan pintarakenteeseen ja muuttuu lämmöksi eli absorboituu. Absorptiokertoimella ilmaistaan pinnasta palaamattoman ja siihen kohdistuneen äänitehon suhde (kaava 8). Absorptiokertoimen avulla pystytään laskemaan huoneen kokonaisabsorptioala eli se, kuinka paljon ääntä huoneen kaikille pinnoille yhteensä absorboituu (kaava 9). Tilan absorptioala pystytään laskemaan myös, kun tiedetään sen tilavuus ja jälkikaiunta-aika (kaava 10). (6, s.162 ; 1, s.14.)

$$\alpha = W_1/W$$

KAAVA 8

$\alpha$  = absorptiokerroin

$W_1$  = heijastunut ääni

$W$  = rakennusosaan kohdistunut ääni

$$A = \sum \alpha_n S_n + 4kV$$

KAAVA 9

$A$  = vastaanottohuoneen kokonaisabsorptioala

$\alpha_n$  = pinnan  $n$  absorptiokerroin

$S_n$  = pinnan  $n$  ala ( $\text{m}^2$ )

$k$  = ilman absorptiokerroin (Katso kuva 7 sivulla 26)

$V$  = huoneen tilavuus ( $\text{m}^3$ )

$$A = 0,16 \frac{V}{T}$$

KAAVA 10

$V$  = huoneen tilavuus ( $\text{m}^3$ )

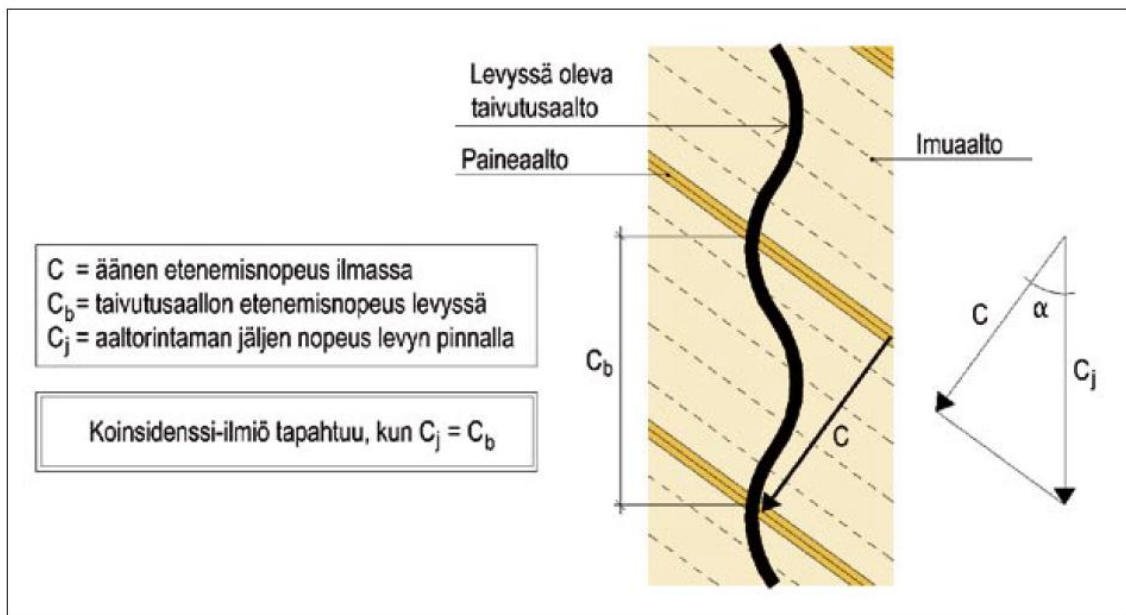
$T$  = huoneen jälkikaiunta-aika (s)

Huokoiset rakennusaineet, joilla on yhtenäinen solurakenne, omaavat hyvät absorptio-ominaisuudet. Umpisoluisilla rakennusaineilla, kuten vaahtomuoveilla ja -kumeilla, on sitä vastoin melko vähäinen absorptio. Myös huokosten koolla on merkitystä, sillä ääni ei pääse tunkeutumaan liian pieniin huokosiin, jolloin ääni ei vaimene. Toisaalta jos huokokset ovat liian suuria, ääni palaa niiden läpi samanlaisena. (6, s.164.)

Äänen läpäistessä huokoisen aineen ja osuessa sen takana olevaan kovaan materiaaliin se heijastuu takaisin huokoiseen materiaaliin ja alkaa kulkea siinä edestakaisin ja vaimenee matkalla. Kun ääni osuu kohtisuorassa kovaan pintaan, on sen ensimmäinen maksimi- eli kupukohta neljännesaallon päässä osumakohdasta. Jos tässä kohtaa on huokoinen eriste, ilmamolekyylit värähtelevät voimakkaasti aineen huokosissa ja ääni vaimenee tehokkaasti. Tämän vuoksi matalat äänet absorboituvat korkeita ääniä paksummilla eristeillä. Absorption voimistamiseksi voidaan rakenteeseen jättää ilmapäli, jolloin ilmapälin takana olevasta kovasta pinnasta palaavalla äänellä on enemmän matkaa saavuttaa edellä mainittu neljännesaallonpituus. (6, s.163.)

### 4.3 Koincidenssi-ilmiö

Koincidenssi-ilmiö syntyy, kun levyn pintaan tietyssä kulmassa osuva ääniaalto-rintama liikkuu samaa vauhtia levyssä etenevän taivutusaallon kanssa. Tällöin taivutusaallon pituus levyssä sekä aallonrintaman pituus levyn pinnalla ovat yhtä suuria, mistä seuraa taivutusaallon huippuun ja laaksoon osuva yli- ja alipainerintama. Tilanteen pysyessä samana äänen edetessä rakenteen ääneneristysominaisuudet heikkenevät. (Kuva 6.) (3, s.21.)



KUVA 6. Koincidenssi-ilmiö levyssä (3, s. 21)

Koincidenssi-ilmiö on ongelma erityisesti ohuissa rakennusosissa, kuten rakennuslevyissä ja ikkunoissa, sillä niiden koincidenssitaaajuus on alhainen (kaavat 11 ja 12). Jokaiselle rakenteelle ominaisen koincidenssitaaajuuden tulee olla kuulon kannalta tärkeän taajuuden 100 - 3 150 Hz:n yläpuolella, sillä koincidenssi-ilmiö tapahtuu rakenteessa kaikilla sen koincidenssitaaajuutta korkeammilla taajuuksilla. Rakenteissa, joissa on monta toisiinsa liimaamatonta levymäistä kerrosta, lasketaan jokaiselle kerrokselle oma koincidenssitaaajuus. On myös hyvä huomata, että levyrakenteen paksuuntuessa sen koincidenssitaaajuus laskee esimerkiksi kipsilevyissä eli muuttuu epäsuotuisammaksi.

(3, s.21 - 22.)

$$f_c = \frac{c^2}{2\pi} \sqrt{\frac{m}{B}}$$

KAAVA 11

$f_c$  = Koinsidenssin rajataajuus (Hz)

$c$  = äänennopeus ilmassa (m/s)

$m$  = seinän massa (kg/m<sup>2</sup>)

$B$  = seinämän taivutusjäykkyys (EI)

$$f_c = \frac{c^2}{2\pi h} \sqrt{\frac{12g(1-\mu^2)}{E}}$$

KAAVA 12

$f_c$  = koinsidenssitaajuus

$c$  = äänen etenemisnopeus ilmassa (noin 340m/s)

$h$  = rakenteen paksuus (m)

$g$  = rakenteen tiheys (kg/m<sup>3</sup>)

$\mu$  = Poisson'in luku (0,3)

$E$  = rakenteen kimmomoduuli (N/m<sup>2</sup>)

#### 4.4 Resonanssi-ilmiö

Resonanssi-ilmiö tapahtuu, kun rakennusosan ominaistajuuden mukaisen taajuuden omaava ääni osuu rakenteeseen, joka aiheuttaa rakenteen värähtelyn amplitudin eli värähdystaajuuden kasvamisen. Rakenteet tulee suunnitella siten, että rakenteen resonanssitaajuus jää äänialueen ulkopuolelle. Tähän voidaan vaikuttaa tekemällä rakenne kaksinkertaisena, jolloin yksinkertaiseen rakenteeseen verrattuna eristävyys on huonompi resonanssitaajuudella, mutta parempi taajuudesta  $\sqrt{2f_0}$  ylöspäin. Resonanssitaajuutta alemmilla taajuuksilla rakenteiden välillä ei ole merkittävää eroa. Useampikerroksisilla rakenteilla ei enää saavuteta hyötyä, sillä niillä on useita resonanssitaajuuksia. (1, s.15 - 16.)

Yksinkertainen rakenne on massiivinen rakenne, kuten betoniseinä, tai sellainen rakenne, jossa sen molempien pintojen levyt on kytketty jollain kovalla ma-

terialla toisiinsa. Hyvänä esimerkkinä tällaisesta rakenteesta on puurankainen seinä, jossa levyt on kytketty toisiinsa rankojen välityksellä. Kaksinkertaisessa rakenteessa sen sijaan levyjä ei ole kytketty mitenkään toisiinsa, vaan niiden välissä on suljettu ilmatila tai pehmeä villakerros, jonka välityksellä ääni liikkuu toisen puolen levyyn ja siitä toiseen huoneeseen. (11, s.24 - 25.)

Kaksinkertaista seinää kutsutaan jousi-massa-järjestelmäksi, sillä seinään osuva ääniaalto aiheuttaa seinään värähdysliikkeen, joka siirtyy ilmatilan välityksellä seinän toiselle puolelle. Värähtely vapautuu seinän toisella puolella äänenä. (6, s.169.)

Kaksinkertaisen rakenteen puoliskojen levytyksien massojen suhde vaikuttaa siihen, kumpaa kaavaa käytetään laskettaessa resonanssitaajuutta. Massojen ollessa samoja käytetään kaavaa 13, ja kun ne poikkeavat toisistaan, käytetään kaavaa 14. Yksinkertaisen rakenteen resonanssitaajuus lasketaan kaavalla 15 ja lisäksi taipuisan rakennuslevyn muodostaman levyvaimentimen resonanssitaajuus lasketaan kaavalla 16. (3, s.24 ; 11, s.24.)

$$f_0 = \frac{85}{\sqrt{md}} \quad \text{KAAVA 13}$$

$$f_0 = 60 \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2 d}} \quad \text{KAAVA 14}$$

$f_0$  = seinän alin resonanssitaajuus (Hz)

$m$  = toisen puolen levyn/levyjen paino ( $\text{kg/m}^2$ )

$d$  = ilmapälin paksuus (m)

$m_1$  = puolen 1 levyn/levyjen paino ( $\text{kg/m}^2$ )

$m_2$  = puolen 2 levyn/levyjen paino ( $\text{kg/m}^2$ )

$$f_0 = k_n \frac{h}{a^2} \sqrt{\frac{E}{12g} (1 - \mu^2)}$$

KAAVA 15

$f_0$  = seinän alin resonanssitaajuus (Hz)

$k_n$  = kiinnitystavan mukaan määräytyvä kerroin

$h$  = rakenteen paksuus (m)

$a$  = jännemitta (=koolausväli) (m)

$E$  = kimmomoduuli (Pa)

$g$  = rakenteen tiheys (kg/m<sup>3</sup>)

$\mu$  = suppeumaluku eli Poisson'in luku

$$f_0 = 60\sqrt{md}$$

KAAVA 16

$f_0$  = resonanssitaajuus

$m$  = levyn neliöpaino (kg/m<sup>2</sup>)

$d$  = ilmavälin paksuus (m)

#### 4.5 Jälkikaiunta-aika

Jälkikaiunta-aika on erityisesti huoneakustiikkaan liittyvä asia. Sillä määritetään aika, jona äänenpainetaso laskee 60 dB äänilähteen lakattua toimimasta. Isoissa tiloissa on pieniä tiloja pidempi jälkikaiunta-aika. Myös pintamateriaaleilla on vaikutusta jälkikaiunta-aikaan, sillä rakenteiden absorptioala kasvaa käytettäessä hyvin absorboivia huokoisia materiaaleja rakenteiden pinnassa, jolloin jälkikaiunta aika laskee (kaava 17). Tiloissa, joissa on pitkä jälkikaiunta-aika, on hälyisää ja huone kuulostaa kaikuvalta. (7 ; 1, s.14.)

$$T = 0,16V/A$$

KAAVA 17

$T$  = jälkikaiunta-aika (s)

$V$  = huoneen tilavuus (m<sup>3</sup>)



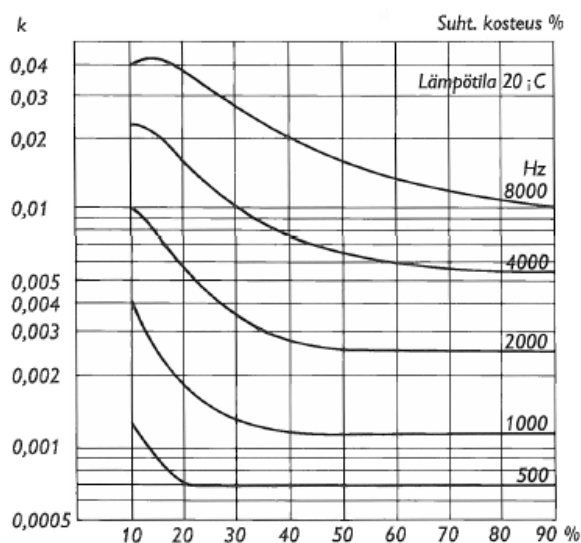
$A$  = huoneen kokonaisabsorptioala ( $\text{m}^2$ )

Huoneessa oleva ilma absorboi tehokkaasti korkeita ääniä. Kaavassa voidaan ottaa myös tämä asia huomioon. (Kaava 18.) (11, s.126.)

$$T = 0,16V/(A+4kV)$$

KAAVA 18

$k$  = ilman absorptiokerroin (kuva 7)

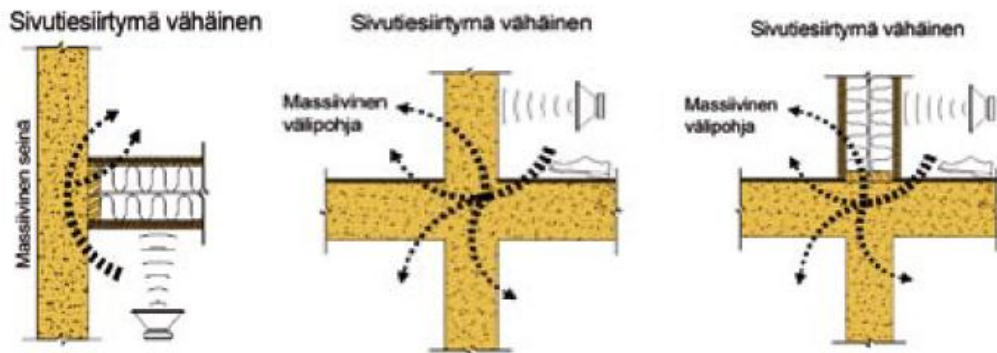


KUVA 7. Ilman absorptiokerroin (11, s. 126)

Pitkä jälkikaiunta-aika heikentää puheen ymmärrettävyyttä. Puhe muodostuu yksittäisistä tavuista. Jos huoneessa on pitkä jälkikaiunta-aika, ne jäävät soimaan pitkäksi aikaa ja sekoittuvat keskenään, jolloin heikot tavut jäävät vahvojen tavujen jalkoihin ja puheesta tulee epäselvää. Jälkikaiunta-aikaa lyhentämällä puheesta saadaan selkeämpää, mutta samalla äänenpainetaso laskee. Tämä on kuitenkin ongelma vain suurissa tiloissa, kuten puhesaleissa ja musiikkitiloissa. Asuinhuoneistoissa ei ole tarvetta koville äänille, joten jälkikaiunta-aika pyritään niissä saamaan mahdollisimman alhaiseksi. (11, s.123 - 124.)

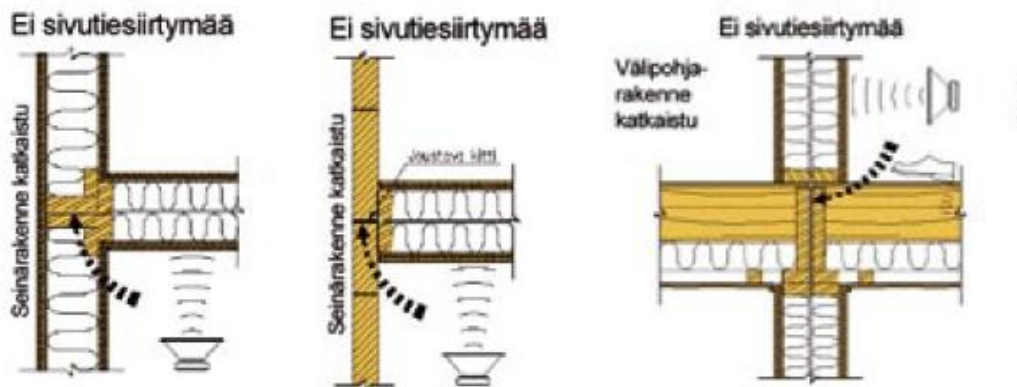
#### 4.6 Sivutiesiirtymät

Sivutiesiirtymien, eli ilmaäänien etenemistä tilasta toiseen muuta tietä kuin näiden välisen seinän läpi, vaikutusta voidaan vähentää käyttämällä massiivisia rakenteita, sillä ne värähtelevät kevyitä rakenteita vähemmän (kuva 8).



KUVA 8. Sivutiesiirtymä massiivisilla rakenteilla (3, s. 38)

Tällöin ääni siirtyy niitä pitkin heikommin. Sivutiesiirtymien vaikutusta pystytään heikentämään myös katkaisemalla sivuava rakenne ja käyttämällä äänikatkona joustavia kerroksia (kuva 9). (3, s.38.)



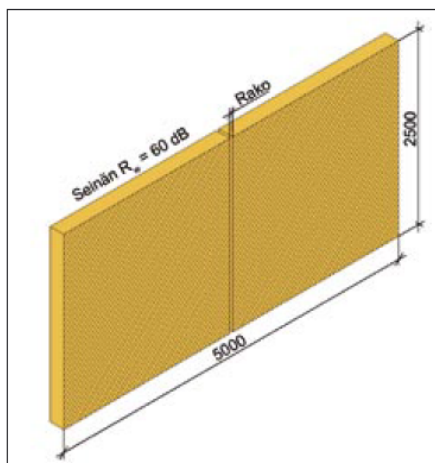
KUVA 9. Sivutiesiirtymän katkaiseminen (3, s. 38)

Sivutiesiirtymiin vaikuttavat rakenteiden liitokset. Massiivisilla rakenteilla, kuten betoniseinillä ja –välipohjilla, rakenteiden liitokset ovat jäykkiä ja hyvin ääntä siirtäviä. Puurakenteisissa taloissa rakenteet ovat kevyitä ja liitokset ovat joustavia ja katkoja sisältäviä, joten äänen värähtelyn siirtyminen on heikompa kuin massiivisilla rakenteilla. Liitokset tulee suunnitella siten, että niillä vältetään sivutiesiirtymät. (3, s.14.)

## 4.7 Tiiveys

Rakenteen ääneneristävyyden kannalta sen tärkein ominaisuus on tiiveys. Ääni pääsee kulkemaan vapaasti epätiivetykskohdista, kuten aukoista ja raoista, sillä niillä ei ole lainkaan ääneneristävyyttä. Ääni pääsee kulkemaan niiden läpi ilman välityksellä. (1, s.17.)

Jo pieni rako seinässä huonontaa seinän ääneneristävyyttä huomattavasti. Tätä asiaa havainnollistaa hyvin tarkastelu, jossa on 2,5 m korkean ja 5,0 m leveän seinän ääneneristävyydet, kun siinä on sen alareunasta yläreunaan ulottuva rako tietyillä leveyksillä (kuva 10). Taulukossa olevilla arvoilla 10 dB ja 20 dB kuvataan sitä, että jos rako on täytetty huokoisella materiaalilla, on sen ilmaääneneristävyys 10 – 20 dB. (3, s.51.)

	Raon leveys [mm]		Seinän ilmaääneneristävyys, kun raon ilmaääneneristävyys on		
	mm		0 dB	10 dB	20 dB
	500		10	20	30
	50		20	30	40
	5		30	40	49,5
	0,5		40	49,5	57
	0,05		49,5	57	59,5
	0,005		57	59,5	60
	0,0005		59,5	60	60
	0,00005		60	60	60

KUVA 10. Raon vaikutus rakenteen ilmaääneneristävyyteen (3, s. 52)

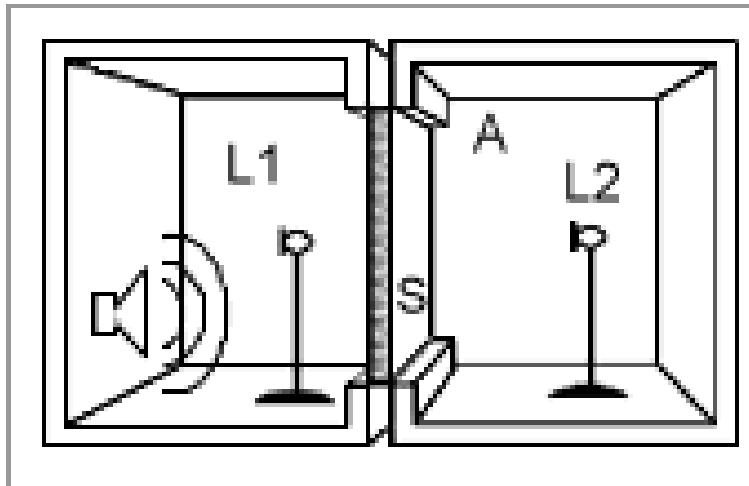
## 5 ILMAÄNENÄÄNENERISTÄVYYDEN MITTAUS

Laboratoriossa suoritetusta mittauksesta ääneneristävydestä käytetään merkintää  $R_w$  ja valmiissa rakennuksessa  $R'_w$ . Laboratoriomittauksissa saadaan yleensä 3 - 10 dB ja joskus jopa yli 25 dB parempia tuloksia, koska niissä ei oteta huomioon äänen sivutiesiirtymää. Ääneneristävyys on sitä parempi, mitä korkeampi tulos saadaan (8 ; 10, s.10.)

Rakenne toimii erilailla eri taajuuksilla, joten äänen taajuudella on merkittävä osa rakenteen ääniteknisessä suunnittelussa. Rakenteen tulee toimia hyvin ihmisen parhaiten kuulemilla taajuuksilla eli 100 - 3 150 hertsiä, joten mittaus suoritetaan näillä taajuuksilla. Erityisesti kevyissä seinä- ja välipohjaratkaisuissa on kuitenkin hyvä huomioida myös tätä matalammat taajuudet, koska ne ovat herkkiä läpäisemään matalia taajuuksia. (3, s.11.)

### 5.1 Laboratoriomittaus

Mittaus tapahtuu laboratoriossa, jossa on kaksi vierekkäistä huonetta, joiden välissä on aukko, johon testattava rakennusosa laitetaan. Ääni ei pääse huoneesta toiseen kuin testattavan rakennusosan läpi. Äänilähde, joka antaa kovaäänistä kohinaa taajuuksilla 100 - 3 150 Hz, laitetaan toiseen huoneeseen. Molempiin huoneisiin sijoitetaan laitteet, jotka mittaavat äänenpainetasoa. (Kuva 11.) Mittaus tehdään kummassakin huoneessa viidessä eri pisteessä kahteen kertaan. Rakenteen ääneneristävyys lasketaan kaikilla mitattavilla taajuuksilla ja käytetään eri mittauspisteistä saatujen tulosten keskiarvoja. Ilmaääneneristävyyden yhteydessä mitataan myös vastaanottohuoneen jälkikaiunta-aika, minkä avulla saadaan laskettua sen absorptioala ja näin poistettua mittauksesta vastaanottohuoneen absorboivien materiaalien vaikutus mittaustulokseen (kaava 19). (8 ; 9.)



KUVA 11. Ilmaääneneristävyyden mittaaminen (5)

$$R = L1 - L2 + 10 \cdot \log_{10}(S/A)$$

KAAVA 19

$R$  = ääneneristävyys

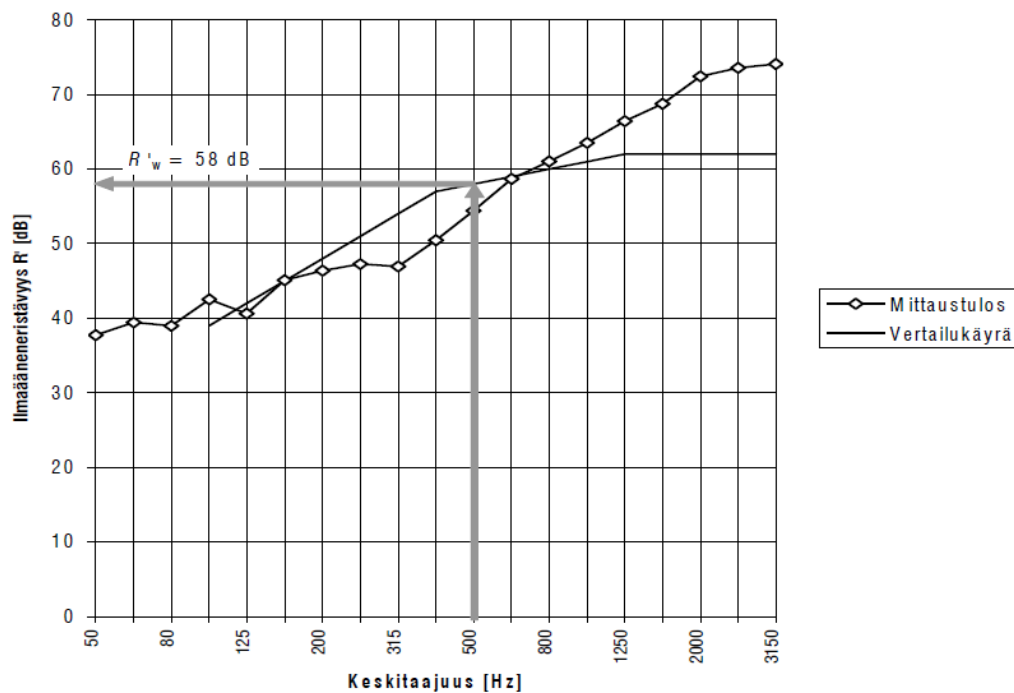
$L1$  = äänenpainetaso lähetyshuoneessa

$L2$  = äänenpainetaso vastaanottohuoneessa

$S$  = rakenteen ala

$A$  = vastaanottohuoneen absorptioala (katso luku 4.2)

Taajuuksittain saaduista ääneneristävyyksistä luodaan käyrä, joka sijoitetaan ääneneristävyyden referenssi- eli vertailukäyrään (kuva 12). Sen avulla saadaan rakenteen ilmaääneneristävyys siten, että siirretään vertailukäyrää 1 dB:n välein ylöspäin. Kun päästään kohtaan, jossa vertailukäyrän ja sen alapuolelle jäävien mittaustulosten erotus on alle 32 dB, rakenteen ilmaääneneristävyys saadaan vertailukäyrän kohdasta 500 Hz. (10, s.10.)



KUVA 12. Ilmaääneneristävyyksluvun määrittäminen taajuuskaistaisista mittaustuloksista (10, s. 10)

## 5.2 Mittaus valmiissa rakennuksessa

Ilmaääneneristävyyden mittaus valmiissa rakennuksessa tehdään samalla tavalla kuin laboratoriossa. Myös laskukaava on sama lukuun ottamatta hyvin tavanomaista tilannetta, jossa seinän pinta-ala sekä vastaanottohuoneen absorptioala ovat yhtä suuria. Tällöin kyseiset termit häviävät kaavasta ja kaava yksinkertaistuu muotoon  $R' = L_1 - L_2$ , jossa on siis jäljellä enää lähetys- ja vastaanottohuoneen äänenpainetasojen erotus. (11, s.11 - 12.)

## 6 TESTATTUJEN ELEMENTTIEN ÄÄNENERISTÄVYYSSOMINAI- SUUDET

Termater on ottanut ensimmäisenä yrityksenä Suomessa käyttöön elementtien valmistuksessa jatkuvavalumenetelmän. Elementit valmistetaan siten, että valmiiksi tehtyyn puukehikkoon valutetaan ”löysä” polyuretaanimassa, ja elementin ulko- ja sisäpinnalle kiinnitetään 15 mm:n paksuinen vanerilevy hyväksikäyttäen massan liimamaista pintaa. Menetelmän avulla elementtien valmistuksesta saadaan huomattavasti aikaisempaa nopeampaa.

Elementin valmistuksessa on otettava huomioon, että jos tehdään siitä monimutkaisempi, ei saavuteta kustannus- ja aikasäästöjä. Tämän vuoksi elementit on hyvä pitää mahdollisimman yksinkertaisina. Pitää siis löytää ratkaisuja, jotka ovat sekä toimivia että kustannustehokkaita.

### 6.1 Elementtien testaaminen

Elementtien ääneneristävyys testattiin VTT:n Espoon toimipisteessä. Testiä varten valmistettiin kolme 1,2 x 1,2 m:n kokoista elementtiä, jotka asetettiin vuorolaan kahden toisistaan eristetyin kammion välisen seinän aukkoon (kuvat 13 ja 14).

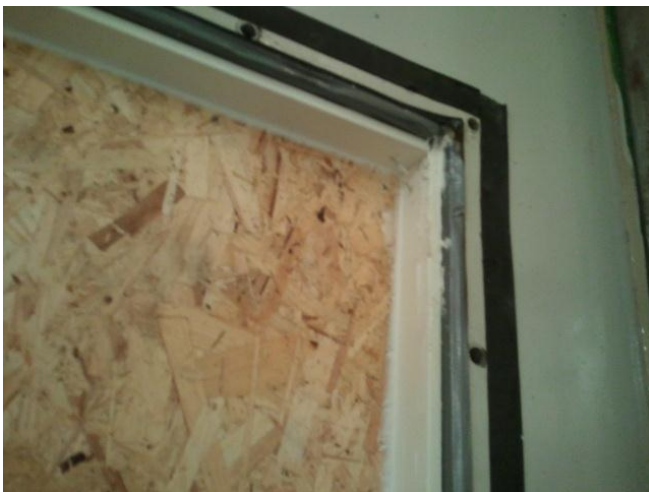


*KUVA 13. Toisistaan eristetyt kammiot*



*KUVA 14. Elementti asennettuna kammioiden väliseen seinään*

Äänen pääseminen elementin ja seinän välistä estettiin tiivistämällä välit joko villalla tai elastisella massalla ja lisäksi rakojen päälle asennettiin puulistat (kuva 15).



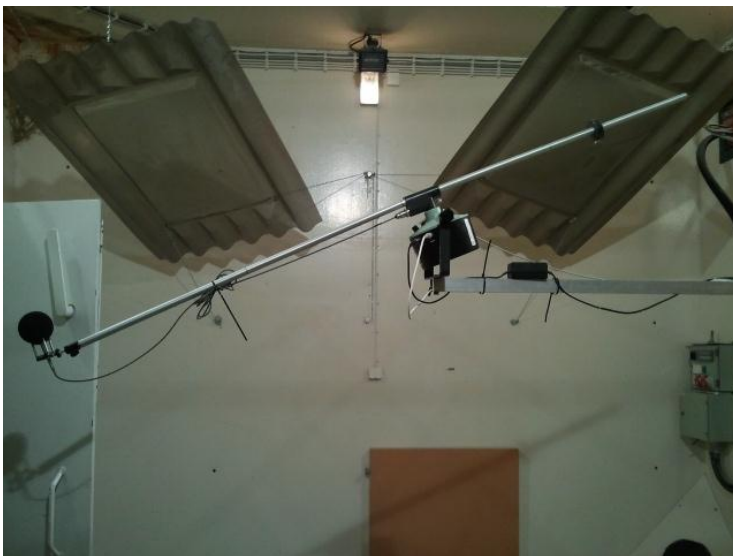
*KUVA 15. Saumojen tiivistäminen*

Lähetyshuoneessa oli kaksi äänilähdettä sekä sauvan päähän asennettu mikrofoni, joka mittaa äänenpainetasoa. Sauvan pyöriessä testin aikana, saadaan mittaustulos monen mittauskohdan keskiarvona. Myös vastaanottohuoneessa oli samalla tavalla toimiva mikrofoni, jolloin seinän ääneneristävyys saatiin eri kammioissa mitattujen äänenpainetasojen erotuksena. (Kuvat 16 ja 17.)





*KUVA 16. Äänilähteet*



*KUVA 17. Sauvan päässä pyörivä mikrofoni*

Kun elementti oli asennettu paikoilleen, ajettiin testausohjelma läpi ohjaamosta käsin (kuva 18).



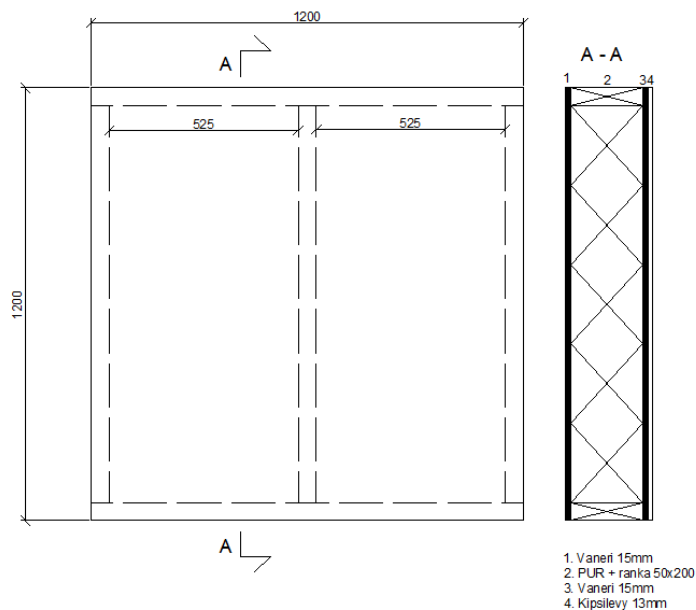
*KUVA 18. Ääneneristävyyden mittaamiseen käytettävä ohjaamo*

Ohjelma antoi elementin ääneneristävyyden ja jälkikaiunta-ajat taajuuksittain (liite 1). Ääneneristävyys laskettiin VTT:llä siten, että otettiin huomioon rakenteen ala ja vastaanottohuoneen absorptioala.

## **6.2 Testattujen elementtien ääneneristävyyssominaisuudet**

### **6.2.1 Elementti 1, ei lisättyjä rakennekerroksia**

Elementti 1:een ei ole lisätty mitään ylimääräisiä kerroksia (kuva 19).



*KUVA 19. Elementti 1*

## Ilmaääneneristävyys

VTT:n mittauksessa saatu ilmaääneneristävyys on 38 dB (liite 1).

## Laskuihin tarvittavat suureet

Rakenteen neliöpaino saadaan jakamalla elementin paino sen pinta-alalla.

Elementti 1:n VTT:llä mitattu paino on 71,6 kg ja testatun elementin pinta-ala on 1,44 m<sup>2</sup>.

$$\frac{71,6 \text{ kg}}{1,2 \text{ m} \times 1,2 \text{ m}} = 49,7 \text{ kg/m}^2$$

Elementin paksuus on 240 mm.

Rakenteen tiheys lasketaan jakamalla elementin neliöpaino sen paksuudella.

$$\frac{49,7 \text{ kg/m}^2}{0,24 \text{ m}} = 207,1 \text{ kg/m}^3$$

Elementin kimmomoduulissa E otetaan huomioon vain kantava runko, koska vanerin ja polyuretaanin vaikutus siihen ovat mitättömiä, sillä männyn kimmoduuli on noin satakertainen verrattuna polyuretaaniin ja vanerikerrokset ovat verrattain niin ohuita, että niiden vaikutus kimmokertoimeen on erittäin vähäinen. Lisäksi laskutulokset saadaan näin varmasti varmalle puolelle. Kantavana runkona käytettävän männyn kimmomoduuli on 11,8 GPa. Runkopalkkien jako on k600 eli elementin pinta-alasta 8,3 % on runkomäntyä. Näin ollen rungon kimmomoduuliksi saadaan 0,98 GPa.

Runkotolppina toimivat massiivipuut, joiden poikkileikkausdimensio on 51 x 198. Niille saadaan jäyhyysmomentiksi

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{51 \text{ mm} \times (198 \text{ mm})^3}{12} = 32990166 \text{ mm}^4 = 3,299 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$

Elementin taivutusjäykkyydeksi saadaan  $EI = 11800 \text{ N/mm}^2 \times 32990166 \text{ mm}^4 / 0,6 \text{ m} = 6,488 \times 10^{11} \text{ Nmm}^2/\text{m} = 6,488 \times 10^5 \text{ Nm}^2/\text{m}$

## Koinsidenssitaajuus

Rakenteen koinsidenssin rajataajuus lasketaan kaavan 11 mukaisesti (sivulla 22).

$$f_{c,elementti1} = \frac{(340 \frac{m}{s})^2}{2\pi} \sqrt{\frac{49,7 \text{ kg/m}^2}{6,488 \times 10^5 \text{ Nm}^2/\text{m}}} = 161 \text{ Hz}$$

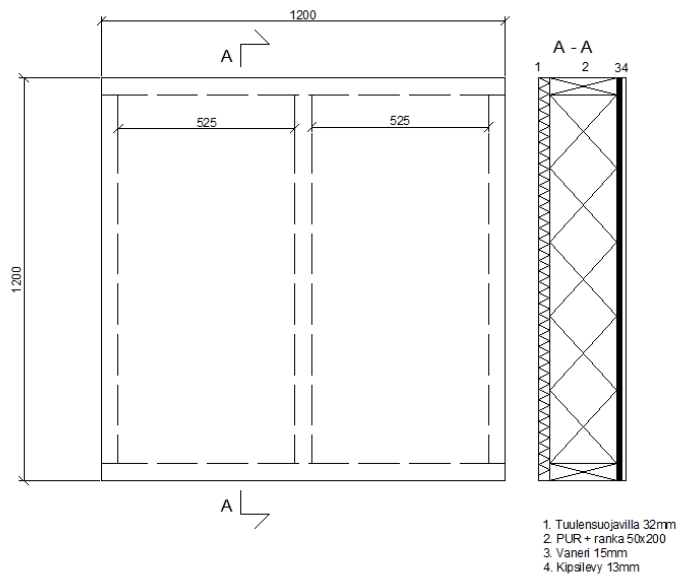
### Resonanssitaajuus

Resonanssitaajuus lasketaan kaavan 15 mukaisesti (sivulla 24). Kiinnitystapa ei ole tiedossa, joten käytetään  $k_n$  arvona 1,0:aa.

$$f_{0,elementti1} = 1,0 * \frac{0,240 \text{ m}}{(2,5 \text{ m})^2} \sqrt{\left(\frac{0,98 \times 10^9 \text{ Pa}}{12 * 207,1 \text{ kg/m}^3} * (1 - 0,3^2)\right)} = 23 \text{ Hz}$$

### 6.2.2 Elementti 2, lisävillakerros elementin pinnassa

Elementti 2:n avulla pyritään selvittämään, mitä vaikutusta on elementin ulkopuolelle asennettavalla villakerroksella, kun elementtiä käytetään ulkoseinänä (kuva 20).



KUVA 20. Elementti 2, lisävillakerros elementin pinnassa

### Ilmaääneneristävyys

VTT:n mittauksessa saatu ilmaääneneristävyys on 40 dB (liite 2).

### Laskuihin tarvittavat suureet

Rakenteen neliöpaino saadaan jakamalla elementin paino sen pinta-alalla.

Elementti 2:n VTT:llä mitattu paino on 74,4 kg ja testatun elementin pinta-ala on 1,44 m<sup>2</sup>.

$$\frac{74,4 \text{ kg}}{1,2 \text{ m} \times 1,2 \text{ m}} = 51,7 \text{ kg/m}^2$$

Elementin paksuus on 275 mm.

Rakenteen tiheys lasketaan jakamalla elementin neliöpaino sen paksuudella.

$$\frac{51,7 \text{ kg/m}^2}{0,275 \text{ m}} = 188 \text{ kg/m}^3$$

Elementin kimmomoduuli:

### Koinsidenssitaajuus

Rakenteen koinsidenssin rajataajuus lasketaan kaavan 11 mukaisesti (sivulla 22).

$$f_{c,elementti2} = \frac{(340 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2\pi} \sqrt{\frac{51,7 \text{ kg/m}^2}{6,488 \times 10^5 \text{ Nm}^2/\text{m}}} = 164 \text{ Hz}$$

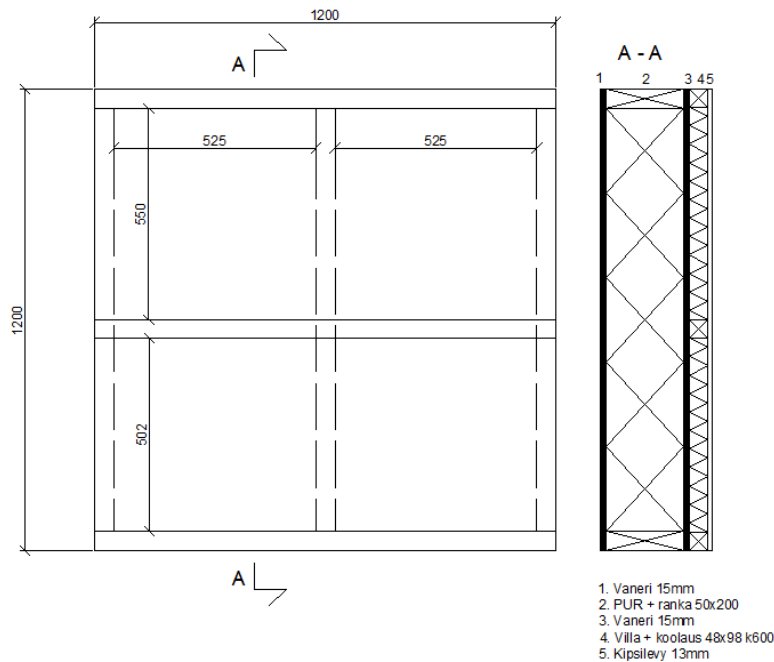
### Resonanssitaajuus

Resonanssitaajuus lasketaan kaavan 15 mukaisesti (sivulla 24). Kiinnitystapa ei ole tiedossa, joten käytetään  $k_n$  arvona 1,0:aa.

$$f_{0,elementti1} = 1,0 * \frac{0,240 \text{ m}}{(2,5 \text{ m})^2} \sqrt{\left(\frac{0,98 \times 10^9 \text{ Pa}}{12 * 188 \text{ kg/m}^3} * (1 - 0,3^2)\right)} = 24 \text{ Hz}$$

### 6.2.3 Elementti 3, joustava levyrakenne elementin pinnassa

Elementtiin 3 on lisätty äänilähteen puolelle ohut taipuisa levyrakenne, joka ei säteile ääntä niin tehokkaasti kuin jäykkä rakenne (kuva 21).



*KUVA 21. Elementti 3, joustava levyrakenne elementin pinnassa*

Elementtien ääneneristävyyttä on mahdollista parantaa lisäämällä toiselle tai molemmille puolille koolaus tai akustinen jousiranka sekä niiden päälle esimerkiksi kipsilevy. Koolausta käytettäessä on hyvä lisätä sen ja kipsilevyn väliin jokin joustava kaista. Tämän lisäksi koolauksen välitilaan sijoitetaan mineraalivilla, joka parantaa ääneneristävyyttä sekä estää rakenteen ääneneristävyyden heikkenemisen resonanssitaajuudella. Välitilan paksuuden lisääminen parantaa ääneneristävyyttä matalilla taajuuksilla. Sen tarkoituksenmukainen vähimmäispaksuus on 50 mm. Kipsilevyjä käytettäessä tulee käyttää harvaa koolausta, jotta resonanssitaajuus pysyy riittävän alhaisena. Suosituksena on, että koolausväli on vähintään 600 mm. (11, s.24 ja 28 - 29.)

### **Ilmaääneneristävyys**

VTT:n mittauksessa saatu ilmaääneneristävyys on 49 dB (liite 3).

### **Laskuihin tarvittavat suureet**

Rakenteen neliöpaino saadaan jakamalla elementin paino sen pinta-alalla.

Elementti 3:n VTT:llä mitattu paino on 89,2 kg ja testatun elementin pinta-ala on 1,44 m<sup>2</sup>.

$$\frac{89,2 \text{ kg}}{1,2 \text{ m} \cdot 1,2 \text{ m}} = 61,9 \text{ kg/m}^2$$

Elementin paksuus on 300 mm.

Rakenteen tiheys lasketaan jakamalla elementin neliöpaino sen paksuudella.

$$\frac{61,9 \text{ kg/m}^2}{0,30 \text{ m}} = 206,3 \text{ kg/m}^3$$

Koinsidenssi- ja resonanssitaajuuksia tulee määrittää erikseen kipsilevylle sekä yhtenä kokonaisuutena toimivalle alkuperäiselle elementille, sillä siinä kaikki rakenneosat on liimattu toisiinsa. Näin ollen tarvitaan myös niiden kimmomoduulit erikseen.

Elementin kimmomoduuli:

Kipsilevyn kimmomoduuli on 2 GPa.

### Koinsidenssitaajuus

Seinärakenteen koinsidenssin rajataajuus lasketaan kaavan 12 ja kipsilevyn kaavan 11 mukaisesti (sivulla 22).

$$f_{c, \text{kipsilevy}} = \frac{(340 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2\pi \cdot 0,013 \text{ m}} \sqrt{\frac{12 \cdot 770 \text{ kg/m}^3 (1 - 0,3^2)}{2 \cdot 10^9 \text{ Pa}}} = 2902 \text{ Hz}$$

$$f_{c, \text{elementti3}} = \frac{(340 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2\pi} \sqrt{\frac{49,7 \text{ kg/m}^2}{6,488 \times 10^5 \text{ Nm}^2/\text{m}}} = 161 \text{ Hz}$$

### Resonanssitaajuus

Elementin resonanssitaajuus lasketaan kaavalla 15 ja koska kiinnitystapa ei ole tiedossa, käytetään  $k_n$  arvona 1,0:aa. Kipsilevy käsitellään vaimentavana levymäisenä rakenteena, joten sen resonanssitaajuus lasketaan kaavan 16 mukaisesti (sivulla 24). Kipsilevyn tiiveys on  $770 \text{ kg/m}^3$ .

$$f_{0, \text{elementti1}} = 1,0 \cdot \frac{0,240 \text{ m}}{(2,5 \text{ m})^2} \sqrt{\left( \frac{0,98 \times 10^9 \text{ Pa}}{12 \cdot 207,1 \text{ kg/m}^3} \cdot (1 - 0,3^2) \right)} = 23 \text{ Hz}$$

$$f_{0, \text{kipsilevy}} = 60 \sqrt{(770 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,013 \text{ m}) \cdot 0,05 \text{ m}} = 42 \text{ Hz}$$

### 6.3 Massalain mukainen ääneneristävyys

Elementin suurin ongelma ääneneristävyyden kannalta on polyuretaanin keveyden vuoksi sen alhainen massa. Yksi tapa parantaa elementin ääneneristävyyttä on lisätä sen massaa. Tehdään elementille tarkastelu, jossa on laskettu sen ilmaääneneristävyys massalain perusteella (taulukko 4). Kyseessä on yksinkertainen rakenne, joten lisäksi olisi tarkistettava sen koinvidenssi- ja resonanssitaajuuDET, joilla ääneneristävyys on todellisuudessa massalain mukaan laskettua alhaisempi. Tehdään tarkastelu kuitenkin ottamatta niitä huomioon.

TAULUKKO 4. Elementtien ääneneristävyys massalain mukaan

Massalaki:  $R = 20 \lg m + 20 \lg f - 49$

Elementti 1		Elementti 2		Elementti 3	
Paino 49,7 kg/m <sup>2</sup>		Paino 51,7 kg/m <sup>2</sup>		Paino 61,9 kg/m <sup>2</sup>	
Taajuus/Hz	Ilmaääneneristävyys	Taajuus/Hz	Ilmaääneneristävyys	Taajuus/Hz	Ilmaääneneristävyys
100	24,93	100	25,27	100	26,83
125	26,87	125	27,21	125	28,77
160	29,01	160	29,35	160	30,92
200	30,95	200	31,29	200	32,85
250	32,89	250	33,23	250	34,79
315	34,89	315	35,24	315	36,80
400	36,97	400	37,31	400	38,88
500	38,91	500	39,25	500	40,81
630	40,91	630	41,26	630	42,82
800	42,99	800	43,33	800	44,90
1000	44,93	1000	45,27	1000	46,83
1250	46,87	1250	47,21	1250	48,77
1600	49,01	1600	49,35	1600	50,92
2000	50,95	2000	51,29	2000	52,85
2500	52,89	2500	53,23	2500	54,79
3150	54,89	3150	55,24	3150	56,80

Tämä tarkastelu tehdään sen vuoksi, että tiedetään suurin piirtein, kuinka tarkasti ääneneristävyyttä voidaan laskea pelkän massalain perusteella elementtien kehityksen yhteydessä.

Massalain perusteella voidaan todeta, että elementtien ilmaääneneristävyyttä ei saada huoneistojen välisille seinille riittäväksi pelkästään lisäämällä seinän massaa. Tämä voidaan päätellä siitä, että massan kaksinkertaistaminenkin lisää ääneneristävyyttä vain 4 - 6 dB. Kun määritetään elementin ilmaääneneristävyys lasketuilla arvoilla, voidaan helposti todeta sen ääneneristävyyden jää-



vän kauaksi vaaditusta, sillä taulukosta 4 500 Hz:n kohdalta luettu arvo on likimain sen ääneneristävyys. (3, s.18.)

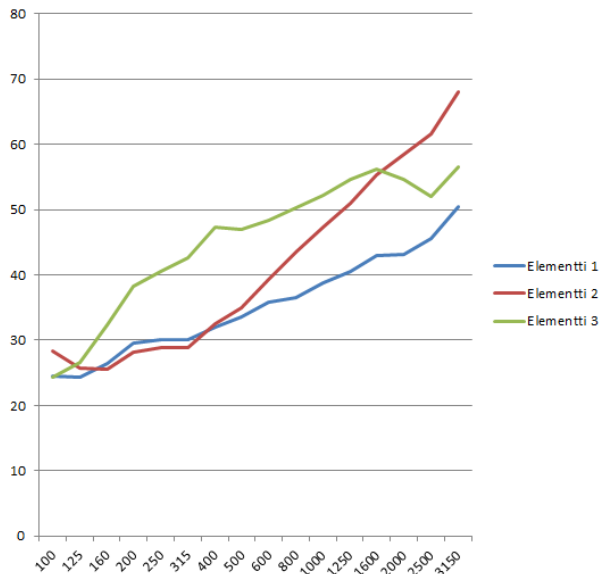
Kun tarkastellaan, kuinka tarkkoja tuloksia massalain perusteella saadaan vertaamalla sillä saatuja arvoja mitattuihin arvoihin, voidaan todeta, että elementtien 1 ja 2 massalailla saadut arvot ovat hyvin lähellä mitattuja arvoja (erotus alle 1 dB). Elementissä 3 on melko suuri ero. Mitattu arvo on yli 7 dB parempi kuin laskettu.

#### **6.4 Jälkikaiunta-aika**

Laskuissa käytettiin kaikille elementeille samoja tersseittäin määritettyjä jälkikaiunta-aikoja (liite 4). Rakentamismääräyskokoelmassa on määritetty suunnittelussa käytettävät ohjeelliset enimmäisarvot jälkikaiunta-ajoille, joihin polyuretaanielementillä ei yllätä: porraskäytävä 1,3 s, ruokala 1,0 - 1,3 s, luokkahuone tai vastaava 0,6 - 0,9 s, voimistelu- tai uimahalli 1,5 - 2,0 s sekä päiväkotien leikkihuoneet 0,6 s. Asuinhuoneistoille ei ole määritetty jälkikaiunta-ajan ohjearvoa, mutta jos elementtiä käytetään edellä mainituissa tiloissa, tulee suunnittelussa ottaa huomioon absorboivien materiaalien käyttö seinässä.

## 7 ELEMENTTIEN VERTAILU JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Laittamalla testeissä saadut elementtien ilmaääneneristävyyksien mittaustulokset samaan kuvaan onnistuu niiden vertailu hyvin (kuva 22). Vertailun lähtökoh- tana on, että verrataan elementtiä 1 muihin elementteihin eli elementteihin 2 ja 3, joihin on lisätty rakennekerroksia.



KUVA 22. Elementtien mittaustulokset samassa kuvassa

Elementti 1:n koinssidenssitaajuus sijoittuu noin taajuudelle 160 Hz, mikä selviää taajuuksille tehdyistä laskuista sekä siitä, että kaikkien testattujen elementtien käyrissä näkyy kyseisen taajuuden kohdalla pieni ääneneristävyyden paranemisen loiveneminen mentäessä korkeammille taajuuksille. Koinssidenssitaajuutta on mahdollista nostaa joko ohentamalla rakennetta tai lisäämällä sen massaa. Rakenteen ohentaminen ei kuitenkaan ole mahdollista ja massan lisääminenkin tulisi olla niin kohtuuttoman suuri, ettei sitä ole syytä harkita. Koinssidenssitaajuuden sijoittuminen kuuloalueelle heikentää rakenteen ääneneristävyyttä niin vähän, ettei sen nostaminen rakenteellisin muokkauksin ole tässä tilanteessa tarkoituksenmukaista.

Sekä vaimentavan levyrakenteena toimivan kipsilevyn että elementti 1:n resonanssitaajuudet pysyvät huomattavasti ihmisen kuuloalueen alapuolella. Tämä selviää määrittämällä ne joko laskemalla tai katsomalla taajuuksittain määrite-

tyistä kaavoista. Niissä ei ole matalilla taajuuksilla mitään suurempia ääneneristävyyden heikkenemisiä edettäessä kohti korkeampia taajuuksia. Sekä elementin 1:n että kipsilevyn laskennalliset resonanssitaajuudet ovat alle 50 Hz.

Huomattava asia kuvassa 22 on, että elementti 1:n ääneneristävyys kasvaa muihin elementteihin verrattuna hyvin tasaisesti siirryttäessä kohti korkeampia taajuuksia. Tämä johtuu elementteihin 2 ja 3 lisätyistä rakennekerroksista. Elementin 2 kohdalla ääneneristävyyden nopea nousu noin 300 Hz:n jälkeen johtuu siihen lisätyistä villakerroksesta, joka absorboi ääntä tehokkaasti, mutta ohuutensa vuoksi vain korkeita taajuuksia. Villakerrosta paksuntamalla pystytäisiin parantamaan myös elementin ääneneristävyyttä matalammilla taajuuksilla.

Rakenteen koinvidenssi- ja resonanssitaajuutta määritettäessä on otettava huomioon erikseen myös elementtiin lisätyt rakennekerrokset, jotka ei ole kiinnitetty jäykästi elementtiin. Tällainen rakenne on esimerkiksi elementissä 3 oleva joustava kipsilevy. Elementti 3:n ääneneristävyys on noin taajuuteen 1 600 Hz asti elementeistä selkeästi paras, minkä jälkeen alkaa laskea taajuudessa 2 900 Hz sijaitsevaa kipsilevyn koinvidenssitaajuutta kohti. Tässä kohtaa kipsilevystä sen joustavuudella saatava hyöty vähenee.

Polyuretaanielementillä saadaan ilman lisäkerroksia sisätilojen melutaso pysymään tavanomaisessa kohteessa alle sallitun 35 dB:n, kun sitä käytetään ulkoseinänä. Tällöin seinän ilmaääneneristävyyden tulee olla epäedullisimmassa tapauksessa 35 dB. Niissä tilanteissa, kun ulkomelun taso ylittää suurimman sallitun arvon, on kuitenkin tutkittava lisärakennekerrosten tarve.

Asuntojen välisille seinille vaadittuun 55 dB ääneneristävyyteen polyuretaanielementeillä on todella haastava päästä. On mahdollista, että kyseinen arvo täyttyy, kun laitetaan elementin molemmille puolille elementin 3 mukainen rakenne. Tällöin on kuitenkin otettava huomioon elementin rakennus- ja materiaalikustannukset. Todennäköisesti on edullisempaa tehdä asuntojen väliset seinät esimerkiksi paikalla rakennettuina.

## 8 YHTEENVETO

Termater Oy tarvitsi koostetta uuden jatkuvavalulla tuotetun puurakenteisen polyuretaanielementin ominaisuuksista. Lopulta päädyttiin kuitenkin syventyä perusteellisesti vain elementin ilmaääneneristävyyteen, sillä asiakkailta on tullut paljon kysymyksiä kyseisestä asiasta eikä tietoa ollut saatavissa.

Polyuretaanielementin ilmaääneneristävyyttä tutkittiin testaamalla kolme eri rakennekerroksista koottua elementtiä. Tulosten perusteella pyrittiin löytämään ulko- sekä asuntojen välisille seinille mahdollisimman kustannustehokkaat, seinien ilmaääneneristysvaatimukset täyttävät rakenteet. Lopputulos oli se, että ulkoseinä elementti täyttää sille asetetut vaatimukset ilman lisäkerroksia, kunhan ulkomelu on sallitulla tasolla, mutta väliseinälle toimivan ratkaisun löytäminen on ongelmallista. Tämä sen vuoksi, että asuntojen välisten seinien korkean ilmaääneneristävyyksivaatimuksen saavuttamiseksi tarvittavien lisäkerrosten lisääminen ei olisi enää taloudellisesti kannattavaa.

Testeissä saadut tulokset olivat jopa hieman yllättäviä siltä osin, että ilman lisäkerroksia koottu elementti eristi ääntä odotettua paremmin, kun taas 32 mm:n villakerroksen olisi odottanut parantavan ilmaääneneristävyyttä enemmän kuin 2 dB. Joustavan levyrakenteen tuoma lisä ääneneristävyyteen taas oli aivan odotetulla tasolla.

Kyseessä on uusi tuote ja voi olla, että sitä pystytään kehittämään siten, että myös väliseinille löytyy ääniteknisesti toimiva ratkaisu. Tämä voi onnistua, jos saadaan esimerkiksi kehitettyä elementistä kaksinkertainen rakenne, jolloin ääneneristävyys paranisi huomattavasti. Se on kuitenkin hyvin haastavaa ottaen huomioon elementin nykyisen valmistustekniikan, mutta ei aivan mahdotonta.

## LÄHTEET

1. Weppling, Tiina – Niemi, Seppo 1990. Äänikirja 1991. Helsinki: Oy Par-tek Ab.
2. Blomberg, Esa – Lepoluoto, Ari 2005. Audiokirja. Saatavissa: [http://ari.lepoluo.to/audiokirja/Audiokirja\\_luku\\_3.pdf](http://ari.lepoluo.to/audiokirja/Audiokirja_luku_3.pdf) . Hakupäivä 23.1.2012.
3. Lahtela, Tero 2004. Ääneneristys puutalossa. Saatavissa: [www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/aaeneristys-puutalossa/koko-ohje.pdf](http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/aaeneristys-puutalossa/koko-ohje.pdf). Hakupäivä 23.1.2012.
4. Virtanen, Matti J. 1998. Rakentamismääräyskokoelma C1. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/data/normit/1917-c1.pdf>. Hakupäivä 23.1.2012.
5. Sipari, Pekka – Saarinen Ari 2003. Ympäristöopas 108. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=4230>. Hakupäivä 23.1.2012.
6. Mäkelä, Simo 2004. Tekninen eristäminen. Helsinki: Hakapaino Oy.
7. Lehtonen, Kalle 2009. Pientalon ääniasioista. Saatavissa: <http://www.rakennaoikein.fi/fi/artikkelit/pientalon-%C3%A4%C3%A4niasioista?page=0%2C0>. Hakupäivä 23.1.2012.
8. Kestävä kivitalo. 2012. Ilmaääneneristävyys. Saatavissa: <http://www.kivitalo.fi/Ilmaaaneneristavyys/ilmaaaeneneristaevvyys.html>. Hakupäivä 23.1.2012.
9. Lemmetty, Sami 2011. Akustiikan perusteita. Saatavissa: <http://koti.welho.com/slemmett/tieto/akustiikka.htm>. Hakupäivä 23.1.2012.

10. Helimäki, Heikki 2009. Asuinrakennusten äänitekniikan täydentävä suunnitteluohje. Saatavissa:  
<http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/Haku?term=suunnitteluohje%2021797> -> teoria. Hakupäivä 23.1.2012.
11. Gyproc äänikirja. 1992. Gyproc Oy. Helsinki: Martinpaino Oy.
12. Ääneneristys rakennuksessa. 2003. Ympäristöministeriö. Saatavissa:  
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=26746>. Hakupäivä 11.4.2012.
13. Hongisto, Valtteri 2010. Rakennusten ääneneristys ja meluntorjunta. Saatavissa: <http://www.ylivieska.centria.fi/rdwood/images/2010-09-29%20luento.pdf>. Hakupäivä 11.4.2012.

Tilaaja: Temmater Oy  
VETELI

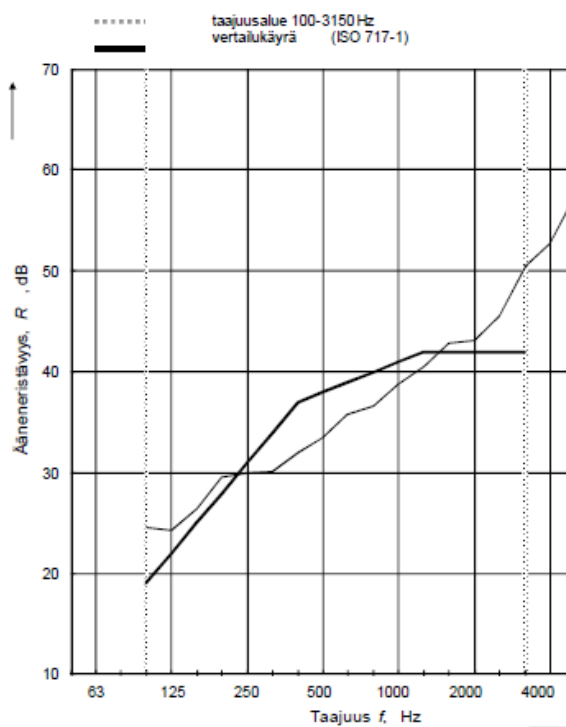
Tuote: Levyrakenteinen seinä, 240 mm  
(runko)

Testikappaleen asensi: Tilaaja  
Kokeen pvm: 13.3.2012

Selostus välineistöstä, testikappaleesta ja kokeen järjestelyistä:

Testikappaleen pinta-ala S: 1,5 m<sup>2</sup>  
Koehuoneiden lämpötila: 21 °C  
Koehuoneiden ilmankosteus: 20 %  
Lähtetävän huoneen tilavuus: 102 m<sup>3</sup>  
Vastaanottohuoneen tilavuus: 131 m<sup>3</sup>

taajuus <i>f</i> Hz	0 terssi- kaistat dB
50	
63	
80	
100	24,5
125	24,3
160	26,4
200	29,6
250	30,0
315	30,1
400	32,0
500	33,5
630	35,8
800	36,6
1000	38,8
1250	40,5
1600	42,9
2000	43,1
2500	45,6
3150	50,4
4000	52,8
5000	57,6



Luokitus ISO 717-1:n mukaan:

$R_w(C;C_T) = 38 (-1; -3) \text{ dB}$

Tulokset perustuvat tarkkuusmenetelmällä  
saatuihin laboratoriomittauksisiin

Tilaaaja: Temater Oy  
VETELI

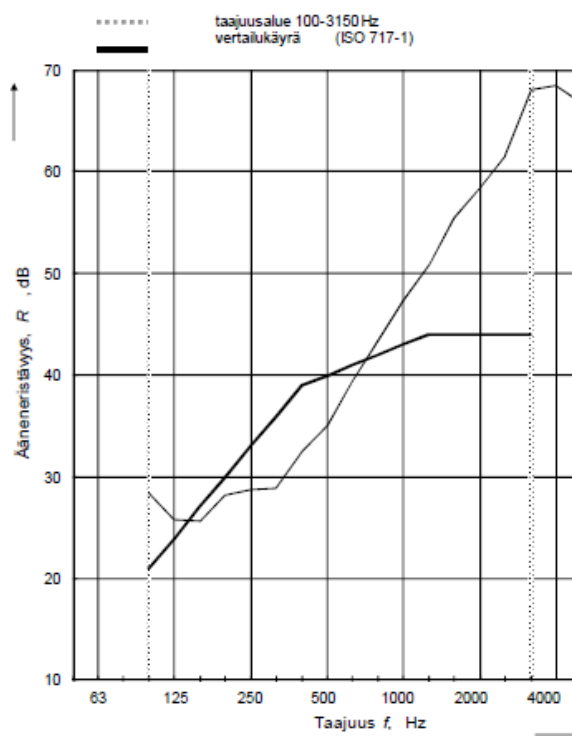
Tuote: Levyrakenteinen seinä, 275 mm  
(runko + villa)

Testikappaleen asensi: Tilaaaja  
Kokeen pvm: 13.3.2012

Selostus välineistöstä, testikappaleesta ja kokeen järjestelyistä:

Testikappaleen pinta-ala  $S$ : 1,5 m<sup>2</sup>  
Koehuoneiden lämpötila: 21 °C  
Koehuoneiden ilmankosteus: 20 %  
Lähtetävän huoneen tilavuus: 102 m<sup>3</sup>  
Vastaanottohuoneen tilavuus: 131 m<sup>3</sup>

taajuus $f$ Hz	0 terssi- kaistat dB
50 63 80	
100 125 160	28,4 25,8 25,6
200 250 315	28,2 28,8 28,9
400 500 630	32,6 35,0 39,3
800 1000 1250	43,4 47,3 50,9
1600 2000 2500	55,4 58,4 61,6
3150 4000 5000	68,0 68,5 66,7



Luokitus ISO 717-1:n mukaan:  
 $R_w(C;C_v) = 40 (-1; -4)$  dB;  
Tulokset perustuvat tarkkuusmenetelmällä  
saatuihin laboratoriomittauksisiin





## MITTAUSTULOKSET

15.3.2012

Tilaaja: Termater Oy  
VETELI

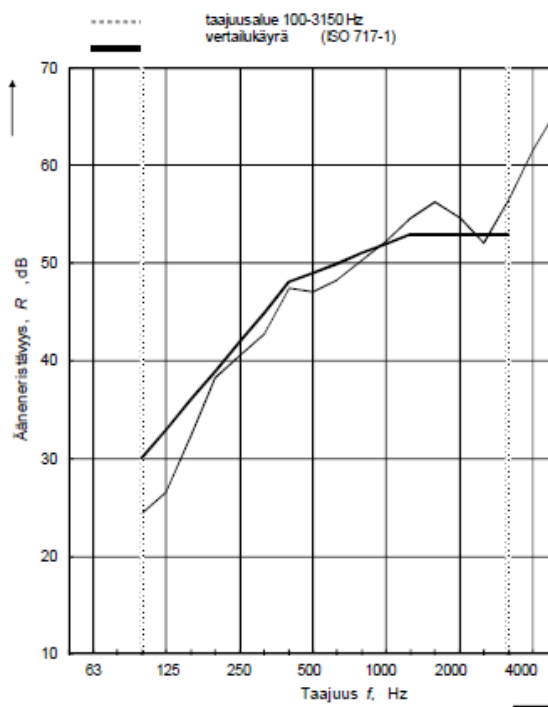
Tuote: Levyrakenteinen seinä, 300 mm  
(runko + lisäkoolaus)

Testikappaleen asensi: Tilaaja  
Kokeen pvm: 13.3.2012

Selostus välineistöstä, testikappaleesta ja kokeen järjestelystä:

Testikappaleen pinta-ala S: 1,5 m<sup>2</sup>  
Koehuoneiden lämpötila: 21 °C  
Koehuoneiden ilmankosteus: 20 %  
Lähtevän huoneen tilavuus: 102 m<sup>3</sup>  
Vastaanottohuoneen tilavuus: 131 m<sup>3</sup>

taajuus <i>f</i> Hz	<i>R</i> terssi- kaistat dB
50	
63	
80	
100	24,4
125	26,6
160	32,4
200	38,2
250	40,6
315	42,7
400	47,4
500	47,0
630	48,3
800	50,3
1000	52,2
1250	54,7
1600	56,2
2000	54,6
2500	52,1
3150	58,6
4000	61,6
5000	65,9



Luokitus ISO 717-1:n mukaan:

$R_w(C;C_v) = 49 (-2; -8)$  dB;

Tulokset perustuvat tarkkuusmenetelmällä  
saatuihin laboratoriomittauksiin

Jälkikaiunta-ajat tersseittäin:

100	1,86
125	1,72
160	2,05
200	2,11
250	1,66
315	1,73
400	2,04
500	2,20
630	2,39
800	2,45
1000	2,26
1250	2,16
1600	2,11
2000	2,03
2500	1,96
3150	1,72
4000	1,50
5000	1,25